

УДК 504.454:455

В. І. МЕДІНЕЦЬ¹, канд. фіз.-мат. наук, с.н.с., **В. Г. СОЛОВЙОВ²**,
Є. А. ЧЕРКЕЗ¹, д-р геол.-мін. наук, проф., **Л. П. ФЕТІСОВ²**,
С. В. МЕДІНЕЦЬ¹, д-р прир. наук, **С. В. СВІТЛИЧНИЙ¹**, **М. Г. БОТНАР¹**

¹Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

пров. Маяковського 7, м.Одеса, 65082, Україна,

e-mail: v.medinets@onu.edu.ua

²ТОВ «Центр екологічної безпеки»,

вул. Братів Поджіо 11, 65031, Одеса, Україна

ОЦІНКА ІНТЕНСИВНОСТІ НАКОПИЧЕННЯ ДОННИХ ВІДКЛАДЕНЬ В КУЯЛЬНИЦЬКОМУ ЛИМАНІ

Мета. Оцінка темпів накопичення донних відкладень в двох районах Куяльницького лиману з використанням радіонуклідного методу. **Методи.** За стандартними методами відбору колонок донних відкладень та гамма-спектрометричних визначень концентрацій радіонуклідів. **Результати.** На основі результатів досліджень, проведених у 2016 р., були визначені пошарові концентрації радіонуклідів цезію-137, калію-40, радію-226 та торію-232. Аналіз вертикальних профілів концентрацій цезію-137 дав можливість вперше зробити оцінки інтенсивності осадконакопичення в двох районах лиману в періоди 1962-1986-2016 рр., які потім були використані для індикативного датування аномалій в розподілі концентрацій радіонуклідів природного походження калію-40, радію-226 та торію-232. **Висновки.** Показано, що в нижній і середній частинах Куяльницького лиману в 1986 – 2016 рр. середні швидкості осадконакопичення склали $0,8 \pm 0,1$ мм/рік та $1,8 \pm 0,2$ мм/рік відповідно. У 1962-1986 рр. інтенсивність осадконакопичення в обох частинах лиману була практично однаковою і складала $1,9 \pm 0,2$ мм/рік. Середні за період 1962-2016 рр. значення склали $1,6 \pm 0,1$ мм/рік та $1,8 \pm 0,2$ мм/рік для нижньої і середньої частини лиману відповідно. Для більш точного датування шарів донних відкладень, які накопичувались раніше 1962 року, запропоновано провести додаткові мінералогічні дослідження та використовувати радіонуклідний метод для визначення темпів осадконакопичення в інших водних об'єктах Причорномор'я.

Ключові слова: осадконакопичення, цезій-137, калій-40, радій-226, торій-232

Medinets V. I.¹, Soloviev V. G.², Cherkez Ye. A.¹, Fetisov L. P.², Medinets S. V.¹, Svitlichniy S. V.¹, Botnar M. G.¹

¹Odessa National I. I. Mechnikov University

²LTD "Ecological Safety Centre"

ASSESSMENT OF BOTTOM SEDIMENTS ACCUMULATION INTENSITY IN THE KUYALNYK ESTUARY

Purpose. Assessment of bottom sediments accumulation rate for two areas of the Kuyalnyk Estuary using radionuclide method. **Methods.** The study has been done in two areas of the Kuyalnyk Estuary: the middle part near Kovalivka village and the lower part to the north from the sanatorium, using the standard methods of sediment columns sampling and gamma-spectrometric analysis of radionuclides concentration. **Results.** Based on the results of the studies of 2016, layer-by-layer concentrations of Cesium-137, Potassium-40, Radium-226 and Thorium-232 were determined. Analysis of vertical profiles of Cesium-137 concentrations enabled us to assess, for the first time, the intensity of sediments accumulation in two areas of the estuary for the periods 1962-1986-2016, which later were used for indicative dating of anomalies in the distribution of natural radionuclides Potassium-40, Radium-226 and Thorium-232 concentrations. **Conclusions.** It has been shown that in the lower and middle parts of the Kuyalnyk Estuary the average rate of sediments accumulation in 1986 – 2016 made 0.8 ± 0.1 mm/year and 1.8 ± 0.2 mm/year respectively. In 1962-1986 sediments accumulation rate was practically the same in both parts of the estuary and made 1.9 ± 0.2 mm/year. The average values for the period 1962-2016 made 1.6 ± 0.1 mm/year and 1.8 ± 0.2 mm/year for the lower and middle parts of the estuary respectively. It has been proposed to perform additional mineralogical studies for more precise dating of the sediment layers accumulated before 1962 and to use radionuclide method for determination of sediment accumulation rate in other water bodies of the Black Sea region.

Key words: sediments accumulation, Cesium-137, Potassium-40, Radium-226, Thorium-232

Мединец В. И.¹, Соловьев В. Г.², Черкез Е. А.¹, Фетисов Л. П.², Мединец С. В.¹, Светличный С. В.¹, Ботнарь М. Г.¹

¹Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова

²ООО «Центр экологической безопасности»

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В КУ-ЯЛЬНИЦКОМ ЛИМАНЕ

Цель. Оценка темпов накопления донных отложений в двух районах Куяльницкого лимана с использованием радионуклидного метода. **Методы.** По стандартным методам отбора колонок донных отложений и гамма-спектрометрических определений концентраций радионуклидов. **Результаты.** На основе результатов исследований, проведенных в 2016 г., были определены послойные концентрации радионуклидов цезия-137, калия-40, радия-226 и тория-232. Анализ вертикальных профилей концентраций цезия-137 дал возможность впервые выполнить оценки интенсивности осадконакопления в двух районах лимана в периоды 1962-1986-2016 гг., которые потом были использованы для индикативного датирования аномалий в распределении концентраций радионуклидов естественного происхождения калия-40, радия-226 и тория-232. **Выводы.** Показано, что в нижней и средней частях Куяльницкого лимана в 1986 – 2016 гг. средние скорости осадконакопления составляли $0,8 \pm 0,1$ мм/год и $1,8 \pm 0,2$ мм/год соответственно. В 1962-1986 гг. интенсивность осадконакопления в обеих частях лимана была практически одинаковой и составляла $1,9 \pm 0,2$ мм/год. Средние за период 1962-2016 гг. значения составили $1,6 \pm 0,1$ мм/год и $1,8 \pm 0,2$ мм/год для нижней и средней частей лимана соответственно. Для более точного датирования слоев донных отложений, которые накапливались ранее 1962 г., предложено провести дополнительные минералогические исследования и использовать радионуклидный метод для определения темпов осадконакопления в других водных объектах Причерноморья.

Ключевые слова: осадконакопление, цезий-137, калий-40, радий-226, торий-232

Вступ

Однією з актуальних проблем сучасного кризового стану Куяльницького лиману є зменшення обсягів води в ньому та підвищення мінералізації, яка призводить до негативних наслідків у функціонуванні біоценозу та процесах формування унікальних лікувальних грязей [1-4]. Основним чинником погіршення стану лиману, який підтримується всіма науковцями, є зменшення обсягів води в лимані внаслідок порушення водного балансу через кліматичні зміни і рукотворне припинення прісноводного стоку з річки Великий Куяльник. Ще однією вірогідною причиною обміління лиману, яку періодично називають експерти, може бути замулення (накопичення донних відкладень в лимані) за рахунок природного

надходження теригенного стоку. В зв'язку з відсутністю реальних експериментальних даних про інтенсивність цього явища в Куяльницькому лимані, нами було проведено спеціальне дослідження в рамках держбюджетної теми «Вивчити кризові зміни екосистеми Куяльницького лиману та обґрунтувати заходи щодо стабілізації його екологічного стану» (науковий керівник проф. Черкез Є.А.).

Мета дослідження – оцінити темпи накопичення донних відкладень в двох районах Куяльницького лиману з використанням радіонуклидного методу, який використовується для визначення окремих характеристик седиментації і для датування віку донних відкладень [8-10].

Об'єкти та методи досліджень

Об'єкт дослідження – донні відкладення Куяльницького лиману. Для вивчення темпів накопичення нами 15-16 вересня 2016 року були відібрані дві колонки донних відкладень з непорушеною структурою (рис. 1): D1 з координатами 46,71311 п.ш. і 30,62121 с.д. (в середній частині лиману, біля с. Ковалівка) та D2 – 46,57533 п.ш. і 30,72405 с.д. (в нижній частині лиману, північніше санаторного комплексу), які визначались за допомогою портативного GPS навігатора GARMIN GPS-12-XL.

Глибина водного шару в місцях відбору колонок складала 10-15 см (D1) та – 35-40 см (D2). Донні відкладення на цих ділянках були представлені чорними мулами, які були покриті тонкою кіркою гіпсу завтовшки біля 5 мм. Для здійснення відбору нами використовувалась пластикова труба довжиною 1,5 м з внутрішнім діаметром 72 мм.

Трубу плавно вдавлювали в товщу донних відкладень на глибину не менш як 60 см, після чого верхню частину труби закривали герметичною пластиковою заглушкою



Рис. 1 – Схема розташування місць відбору колонок донних відкладень в Куяльницькому лимані: D1 (16.09.2016 р.) і D2 (15.09.2016 р.)

та піднімали відібраний зразок. Після підйому труби з води, нижню частину труби додатково закривали герметичною пластиковою кришкою. Після доставки відібраної колонки на суху ділянку берегу перші 10 см колонки розділяли на шари через 1 см, а потім з 10 см до кінця колонки через кожні 3 см. за допомогою поршневого екструдера, виготовленого співробітниками ТОВ «Центр екологічної безпеки». В якості різак використовували тонкий шпатель товщиною 0,1 мм. Відділені зразки шарів колонки складались в поліетиленові пакети і доставлялись в лабораторію ТОВ «Центр екологічної безпеки», в якій вони у відповідності з рекомендаціями [5] зважувались, висушувались та поміщались в спеціальні кювети для проведення гамма-спектрометричного визначення концентра-

ції радіонуклідів торію-232, радію-226, калію-40 і цезію-137, яке здійснювалось з використанням гамма-спектрометра, до складу якого входили спектрометричний підсилювач БУИ-3К, спектрометричний процесор АЦП-8К-2Г, блок високовольтного живлення БНВ-31 та напівпровідниковий детектор ORTEC GEM-30185. Калібровка гамма-спектрометра здійснювалась за допомогою об'ємного імітанту типу ОСН-1. Ідентифікацію радіонуклідів калію-40, цезію-137, радію-226 та торію -232 проводили у відповідності з методикою [6] за енергією гамма квантів з енергіями : 1460, 662; 186 і 1860 KeV відповідно. Обробка гамма-спектрів та розрахунки вмісту радіонуклідів в зразках здійснювали у відповідності з методикою [7] з використанням програмного забезпечення ЛСРМ. Відносна статистична

помилка гама-спектрометричних вимірювань з урахуванням рівню зовнішнього ра-

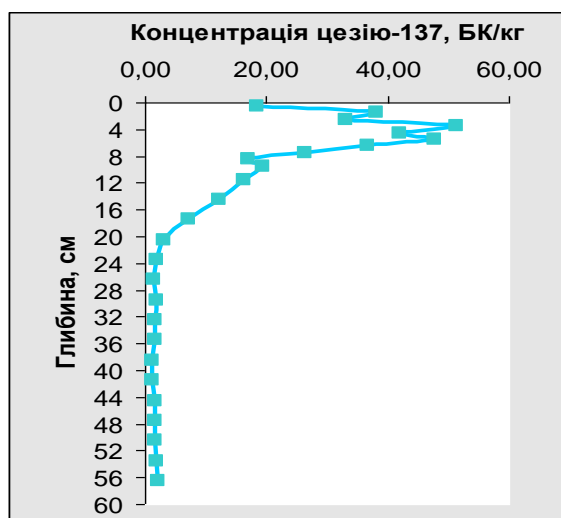
діоактивного фону не перевищувала 10%.

Результати та обговорення

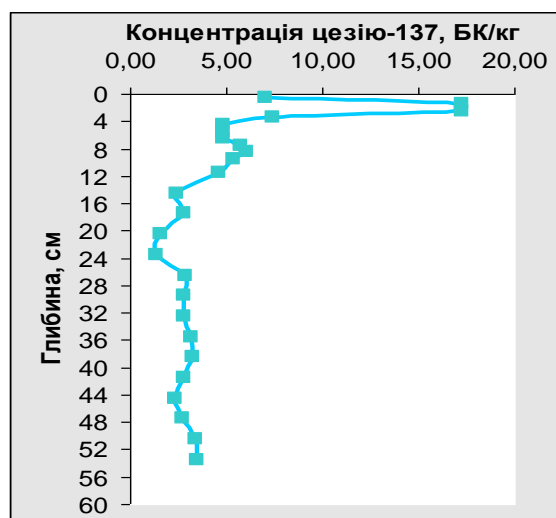
Аналіз вертикального розподілу концентрацій радіонуклідів цезію-137, калію-40, радію-226 та торію-232 по глибині колонок D1 та D2 показав наступне.

В середній частині лиману (станція відбору D1) вертикальний розподіл концентрацій цезію-137 (рис. 2) характеризувався наявністю максимальних значень 47,8-51,4 Бк/кг в шарах відкладень на гли-

бинах 3,0-6,0 см. Надалі, з глибиною спостерігався наступний невеличкий максимум у 19,3 Бк/кг на глибині 9-10 см і далі концентрація цезію-137 монотонно зменшувалась до глибини 17 см, за якою спостерігались фонові значення, близькі до межі визначення, яка в залежності від обсягу зразка складала від 1,0 до 2,2 Бк/кг.



а) станція відбору D1



б) станція відбору D2

Рис. 2 – Вертикальний розподіл концентрацій цезію-137 в колонках донних відкладень D1 (а) та D2 (б), відібраних в Куяльницькому лимані в вересні 2016 року

Враховуючі той факт, що перший максимум концентрацій цезію 127 відповідає його надходженню після Чорнобильської аварії 1986 року, можна констатувати, що шар донних відкладень від 3,0 до 6,0 см, з урахуванням дифузійних процесів в них, сформувався на протязі останніх 30 років, і інтенсивність їх накопичення за останні 30 років може бути оцінена в межах від 1,1 до 2,5 мм/рік при середньому значенні $1,8 \pm 0,7$ мм/рік. Наступним джерелом надходжень цезію-137 до водних об'єктів у минулому вважається серія міцних ядерних випробувань 1960 років з максимумом у 1962 році, які використовуються іншими дослідниками [8-10] при датуванні шарів донних відкладень. Цій даті відповідають підвищенні концентрації цезію-137 шару донних відкладень від 8 до 20 см з максимумом на глибині 9-10 см, тобто середня інтенсив-

ність накопичення донних відкладень з 1962 р. до 1986 р. складала $1,9 \pm 0,4$ мм/рік, а за весь період 1962-2016 рр. – $1,8 \pm 0,4$ мм/рік.

В нижній частині лиману (станція відбору D2) вертикальний розподіл концентрацій цезію-137 (рис. 2) характеризувався наявністю максимуму 17,3 Бк/кг в шарах відкладень на глибинах 1,0-3,0 см. За своїм значенням цей максимум був майже в 3 рази меншим ніж в колонці D1 в середній частині лиману. На глибинах від 4,0 до 14,0 см спостерігався наступний невеличкий максимум концентрації цезію-137 (6,03 Бк/кг) на глибині 8,0-9,0 см, який теж був у 2,7 рази меншим ніж на станції D1. Надалі концентрація цезію-137 монотонно зменшувалась до глибини 14 см, за якою спостерігались фонові значення, тобто можна зробити висновок, що в нижній частині

лиману шар донних відкладень, в якому реєструється цезій-137 на протязі останніх 30 років після Чорнобильської аварії, сформувався на глибинах від 2 до 4 см. Таким чином, інтенсивність накопичення донних відкладень в колонці D2, з урахуванням дифузійних процесів може бути оцінена в межах від 0,7 до 1,3 мм/рік, при середньому значенні $0,8 \pm 0,1$ мм/рік. Оцінка інтенсивності відкладень за надходженнями цезію-137 від ядерних випробувань 1960-х років показала, що шар донних відкладень в колонці D2, в якому спостерігались підвищенні концентрації цезію-137, розташовувався на глибинах від 4 до 10 см з максимумом на глибині 8,0-9,0 см, тобто накопичення донних відкладень з 1962 року до 1986 дорівнювало 40-50 мм за 24 роки, що відповідає інтенсивності 1,7-2,1 мм/рік при середньому значенні $1,9 \pm 0,2$ мм/рік. Середня інтенсивність накопичення відкладень в нижній частині лиману за період 1962-2016 роки складає $1,6 \pm 0,1$ мм/рік, що практично співпадає з нашою оцінкою для верхньої частини лиману.

Таким чином можна констатувати, що в Куяльницькому лимані експериментально визначені рівні осадконакопичення коливались в 1986-2016 рр. в межах від 0,8 до 1,8 мм/рік, в 1962-1986 рр. – були практично однаковими і дорівнювали 1,9 мм/рік, а в 1962-2016 рр. – складали 1,8 і 1,6 мм/рік для колонок D1 і D2 відповідно. Отримані нами оцінки доволі добре погоджуються з результатами інших дослідників [8-10] для інших водних об'єктів, і надалі можуть бути використані для приблизного датування часу аномалій, які виявляються у вертикальних профілях концентрацій радіонуклідів природного походження по глибині колонок.

Треба також відмітити особливість розподілу максимальних значень концентрацій цезію-137, які як для 1986 року, так і для 1962 року в середній частині лиману (D1) були майже в 3 рази вищими, ніж у нижній частині лиману (D2), що, за нашою думкою, може бути пояснено тим, що біля с. Ковалівка основний внесок до вмісту цезію-137 в донних відкладеннях давав поверхневий і річковий стік з річок і балок басейну Куяльницького лиману, в той час як в нижній частині лиману могли переважати біогенні процеси осадконакопичення.

Аналіз вертикального розподілу концентрацій радіонуклідів природного походження калію-40 на станції D1 (рис. 3) показав, що вони змінювались в межах від

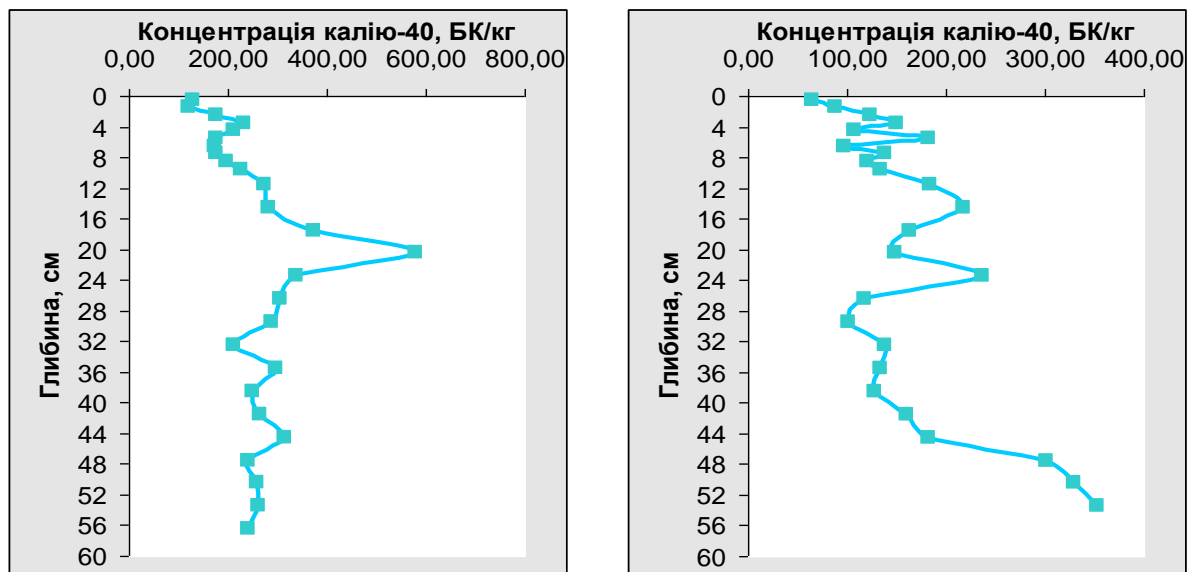
120,9 Бк/кг (0-1 см) до 580 Бк/кг (19-22 см) при середньому значенні 254 ± 61 Бк/кг (0-58 см). Абсолютний максимум концентрацій калію-40 (580 Бк/кг) спостерігався в шарі колонки 19-22 см, що може відповідати часу їх формування від 105 до 122 рр. тому (тобто в період 1894 - 1911 рр.), якщо прийняти що за всією довжиною колонки інтенсивність осадконакопичення була 1,8 мм/рік, значення якої яку ми оцінили за профілем цезію-137 для періоду 1962-2016 рр.

Ще кілька невеличких піків концентрацій були зафіксовані в шарах 3-4 см, 34-37 см і 43-46 см, що, вірогідно, відповідає часові формування шарів донних відкладень 17-22 рр. тому (1994-1999 рр.), 188 – 205 рр. тому (1811 – 1828 рр.) і 239 – 255 рр. тому (1761-1777 рр.) відповідно. Мінімальні значення концентрацій: 125, 175, 211 та 240 Бк/кг спостерігались на глибинах 0-2, 5-8, 31-34 та 48-51 см, тобто у 1991-2016 рр. (0-25 рр. тому), 1972-1988 рр. (28-44 рр. тому), 1828-1844 рр. (172-188 рр. тому) і в 1733-1749 рр. (267-283 рр. тому) відповідно.

Аналіз вертикального розподілу концентрацій радіонуклідів природного походження калію-40 на станції D2 (рис. 3) показав, що вони були значно нижчими ніж у середній частині лиману та змінювались в межах від 65 (0-1 см) до 329 Бк/кг (52-55 см) при середньому значенні $164,2 \pm 53,9$ Бк/кг. Максимуми концентрацій спостерігались на глибинах 5-6, 13-16, 22-25 см, що, використовуючи нашу оцінку інтенсивності осадконакопичення по цезію-137, дає нам можливість датувати їх виникнення 31-38, 81-100 та 137-156 рр. тому, тобто в періоди 1978-1985, 1916-1935 та 1860-1879 років відповідно. При цьому слід відмітити, що аномальне зростання концентрацій калію-40 до значень 290-340 Бк/кг спостерігалось на глибинах від 46 до 55 см, що відповідає часу виникнення цього шару – приблизно 270-280 рр. тому, тобто до 1730 – 1746 рр., тобто враховуючі той факт, що калій-40 є індикатором літогенних процесів [9], донні відкладення нижньої частини

Куяльницького лиману до 1730-1746 року сформувались за рахунок надходження глинистої речовини з берегів, в якій звичайно спостерігаються підвищенні концентрації калію [9].

Мінімальні концентрації калію-40 зі значеннями 65-88, 175, 149 і 101 Бк/кг спостерігались на глибинах 0-2,0 см (0-12 рр.



а) станція відбору D1

б) станція відбору D2

Рис. 3 – Вертикальний розподіл концентрацій калію-40 в колонках донних відкладень D1 (а) та D2 (б), відібраних в Куяльницькому лимані в вересні 2016 року

тому, тобто в 2004-2016 рр.), 6-8 см (37 – 50 рр. тому, тобто в 1966-1979 рр.), 19-22 см (119- 137 рр. тому, тобто в 1879-1897 рр., 28-31 см (175 - 193 рр. тому, тобто в 1823-1840 рр.) Можна припустити, що саме в вищенаведені періоди спостерігалось зменшення інтенсивності літогенних процесів. Детальний аналіз і більш об'єктивну історичну реконструкцію походження донних відкладень з урахуванням літогенних процесів, які можна буде прив'язати до історичних і природних подій минулого, доцільно в майбутньому здійснити під час проведення додаткових мінералогічних досліджень в колонках, що будуть відібрані в цих районах лиману.

Аналіз вертикального розподілу концентрацій радіонукліду природного походження радію-226 на станції D1 (рис. 4) показав, що вони змінювались в межах від 12,8 (0-1 см) до 29,3 Бк/кг (16-19 см) при середньому значенні $21,2 \pm 2,7$ Бк/кг.

Максимуми концентрацій радію-226 зі значеннями 25,4, 25,5 і 21,6 Бк/кг спостерігались також на глибинах 3,0-4,0 см, 8,0-9,0 см та 43-46 см відповідно, датування яких за цезієм-137 показало, що ці глибини відповідають періодам 1993-1999, 1966-1972 та 1760-1778 рр. відповідно. Мінімальні значення концентрацій радію-226 спостерігались на глибинах 0-1 см, 5-6 см, 9-10 см та 37-40 см, що відповідало періодам 2010 р., 1983-1988

рр., 1960-1966 рр. та 1793-1810 рр. відповідно.

Аналіз вертикального розподілу концентрацій радію-226 на станції D2 показав, що вони змінювались в подібних до станції D1 межах - від 10,4 Бк/кг (6-7 см) до 29,6 Бк/кг (2-3 см) при середньому значенні $20,8 \pm 3,5$ Бк/кг, що практично співпадало з середнім значенням концентрацій для колонки станції D1 ($21,2 \pm 2,7$ Бк/кг). Таке співпадіння середніх концентрацій не було зафіксовано більш ні для одного з інших радіонуклідів, що може свідчити про те, що існує однакове джерело надходження радію-226 в донні відкладення різних частин лиману. Цей факт потребує свого додаткового дослідження.

Максимуми концентрацій радію-226 зі значеннями 29,6, 25,0 і 28,5 Бк/кг, спостерігались на глибинах 2-4, 16-19 та 34-37 см відповідно, датування яких за цезієм-137 показало, що ці глибини відповідають періодам 1966-1991, 1897- 1916 та 1780-1803 рр. відповідно. Мінімальні значення концентрацій радію-226 спостерігались на глибинах 0-1, 6-7, 22-25 та 37-40 см, що дає датування шарів 2010 р., 1972- 1978 рр., 1860-1878 рр. та 1766-1785 рр. відповідно.

Аналіз вертикального розподілу концентрацій торію-232 на станції D1 (рис. 5) показав, що вони змінювались в межах - від

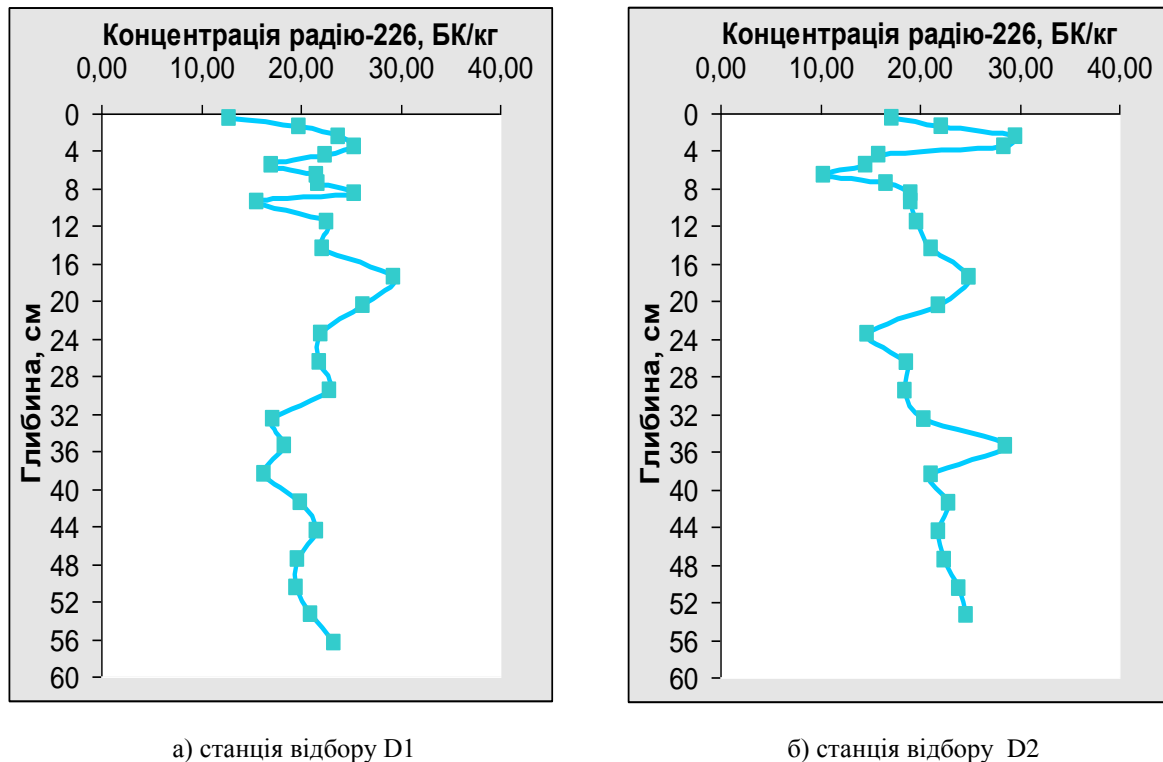


Рис. 4 - Вертикальний розподіл концентрацій радію-226 в колонках донних відкладень D1 (а) та D2 (б), відібраних в Куяльницькому лимані в вересні 2016 року

18,6 Бк/кг (8-9 см) до 34,5 Бк/кг (19-22 см) при середньому значенні $26,3 \pm 3,3$ Бк/кг.

Максимуми концентрацій торію-232 зі значеннями 30,2, 34,5 32,5 і 27,7 Бк/кг спостерігались на глибинах 4-5, 7-8, 19-22 та 43-46 см, датування яких за цезієм-137 відповідало періодам 1985-1994, 1966-1977, 1894-1910 та 1761- 1777 рр. відповідно. Мінімальні значення концентрацій торію-232 спостерігались на глибинах 1-2, 5-6, 8-9 та 37-40 см, що відповідало періодам 2005-2010 рр., 1983-1988 рр., 1966-1971 рр. та 1793-1810 рр.

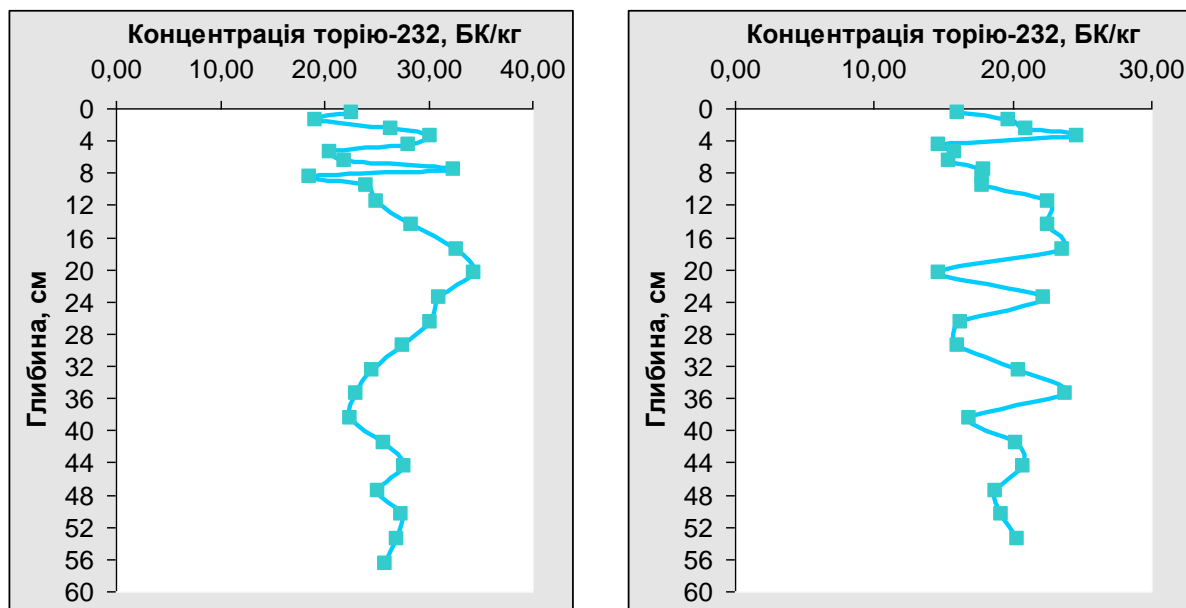
Аналіз вертикального розподілу концентрацій торію-232 на станції D2 (рис. 5) показав, що вони змінювались в межах від 14,6 Бк/кг (19-22 см) до 24,7 Бк/кг (3-4 см) при середньому значенні $19,2 \pm 2,6$ Бк/кг. Максимуми концентрацій торію-232 зі значеннями 24,7, 23,6, 22,2 і 23,8 Бк/кг спостерігались на глибинах 4-5, 16-19, 22-25 та 34-37 см відповідно, датування яких за цезієм-137 відповідало періодам 1991-2000, 1897-1916, 1860-1878 та 1785-1804 рр.

Мінімальні значення концентрацій спостерігались на глибинах 0-1, 4-7, 19-22, 25-31 та 37-40 см, що відповідало періодам 2010-2016 рр., 1973-1991 рр., 1878-1897 рр., 1822- 1860 та 1756-1785 рр.

Висока мінливість вертикального розподілу концентрацій природних радіону-

клідів в донних відкладеннях та іноді синхронні зміни їх концентрацій змусили нас перевірити кореляційні взаємозв'язки між ними. Аналіз коефіцієнтів парної кореляції між рядами концентрацій радіонуклідів калію-40, радію-226 та торію-232 (табл. 1-2) показав, що кореляційні взаємозв'язки між ними в різних частинах лиману суттєво відрізняються.

В середній частині лиману (колонка D1) тісні додатні кореляційні зв'язки спостерігались для калію-40 з радіонуклідами радієм-226 ($r=0,48$) та торієм-232 ($r=0,67$), що може свідчити про єдність джерел надходжень більшої частини цих радіонуклідів. Для цезію-137 був зареєстрований єдиний, але від'ємний кореляційний зв'язок з калієм-40 ($r=-0,53$), що може бути результатом того, що основна маса цезію-137 потрапила до лиману в результаті випадіння з атмосфери, а не літогенних процесів, індикатором інтенсивності яких, як відомо [9], є калій-40. Звертає на себе увагу тісний кореляційний зв'язок між концентраціями торію-232 і радію-226 ($r=0,55$), а також існуючі від'ємні кореляційні взаємозв'язки між концентраціями цих радіонуклідів та щільністю донних відкладень ($r=-0,40$ - для торію-232, $r=-0,45$ - для радію-226). Зростання концер-



а) станція відбору D1

б) станція відбору D2

Рис. 5 - Вертикальний розподіл концентрацій торію-232 в колонках донних відкладень D1 (а) та D2 (б), відібраних в Куяльницькому лимані в вересні 2016 року

Таблиця 1

Кореляційні взаємозв'язки між концентраціям радіонуклідів в колонці D1

	Ra-226	Th-232	K-40	Щільність
Cs-137	0,04	-0,24	-0,53**	-0,10
Ra-226		0,55**	0,48**	-0,45*
Th-232			0,67**	-0,40*
K-40				-0,15

Рівні значимості коефіцієнтів кореляції: * - 0,37 при $p=0,005$, ** 0,48 при $p=0,01$

Таблиця 2

Кореляційні взаємозв'язки між концентраціями радіонуклідів в колонці D2

	Ra-226	Th-232	K-40	Щільність
Cs-137	0,26	0,06	-0,36	0,58**
Ra-226		0,63**	0,23	-0,26
Th-232			0,31	-0,35
K-40				-0,48*

Рівні значимості коефіцієнтів кореляції: * - 0,38 при $p=0,005$, ** 0,49 при $p=0,01$

трацій спостерігається з пониженням щільності відкладень, що може бути лише у разі підвищення вмісту води і розчинених солей в них. Тобто ці взаємозв'язки опосередковано можуть свідчити про те, що значна частина радію-226 і торію-232 може потрапляти в

донні відкладення у вигляді розчинених солей.

В нижній частині лиману (колонка D2) кількість кореляційних значимих взаємозв'язків суттєво зменшується. Значимі кореляційні зв'язки спостерігались лише між

концентраціями радію-226 та торію-232 ($r=0,63$), що підтверджує наше припущення про єдине джерело їх надходження в лиман, незалежно від району спостережень. Відсутність інших взаємозв'язків між концентраціями радіонуклідів може свідчити про те, що процеси надходження інших радіонуклідів до донних відкладень в нижній частині лиману суттєво відрізняються від середньої частини лиману. Саме про це свідчить і наявність позитивної кореляції між щільністю і концентрацією

цезію-137 ($r = 0,58$) та від'ємної кореляції щільності з концентрацією калію-40 ($r = -0,48$), що може бути викликано переносом більш забруднених цезієм-137 донних відкладень з північної частини лиману та вірогідним значимим впливом субаквального потоку підземних вод в нижній частині лиману, які мають підвищені концентрації калію. Але останнє припущення планується перевірити в подальших дослідженнях.

Висновки

За аналізом розподілу концентрацій радіонуклідів по глибині колонок донних відкладень нами вперше для Куяльницького лиману репрезентативно проведено оцінку інтенсивностей осадконакопичення у 1962-1986-2016 рр. в нижній і середній його частинах, які показали, що в 1986 – 2016 рр. середні швидкості осадконакопичення склали $0,8 \pm 0,1$ мм/рік та $1,8 \pm 0,2$ мм/рік відповідно, у 1962-1986 рр. інтенсивність осадконакопичення в обох частинах лиману була практично однаковою і складала $1,9 \pm 0,2$ мм/рік, а за весь період 1962-2016 рр. середні значення для нижньої і середньої частин лиману склали $1,6 \pm 0,1$ мм/рік та $1,8 \pm 0,2$ мм/рік відповідно.

Отримані нами оцінки темпів осадконакопичення дали змогу здійснити індикативне датування аномалій в розподілі концентрацій радіонуклідів природного походження калію-40, радію-226 та торію-232.

Вивчення вертикальних профілів концентрацій природних радіонуклідів та їх взаємозв'язків показало, що вони характеризуються значною мінливістю по глибині та наявністю аномалій, що свідчать про

наявність невивчених літогенних і біогенних процесів, які впливали в минулому на інтенсивність їх надходження в окремі шари донних відкладень. Саме тому, на нашу думку, для більш точного датування донних відкладень, які накопичувались раніше 1962 року, необхідно провести додаткові мінералогічні дослідження та історичний аналіз природних аномалій, які відбувались в районі Куяльницького лиману в минулому.

Крім того, апробована нами в Куяльницькому лимані методика датування шарів донних відкладень за цезієм-137 може бути рекомендована для оцінки інтенсивності осадконакопичення інших ізольованих водоймищ Причорномор'я.

Автори висловлюють свою подяку співробітникам Регіонального центру інтегрованого моніторингу і екологічних досліджень Одеського національного університету імені І.І. Мечникова та ТОВ «Центр екологічної безпеки», які допомогли у проведенні відборів та проведенні гамма-спектрометричних аналізів зразків донних відкладень.

Література

1. Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья / В. В. Адабовский, В. Н. Большаков, Е. Д. Гопченко ; отв. ред.: Ю. С. Тучковенко, Е. Д. Гопченко ; Одесский гос. экологический ун-т. – Одесса : ТЭС, 2012 . 223 с.
2. Водний режим та гідроекологічні характеристики Куяльницького лиману: Монографія / За ред. Н. С. Лободи, Є. Д. Гопченка; Одеса : ТЕС, 2016. 332 с.
3. Причины и последствия деградации Куяльницкого лимана (северо-западное Причерноморье, Украина) / А. А. Эннан, И. И. Шихалеев, Г. Н. Шихалеева, В. В. Адобовский, А. Н. Кирюшкина. *Вісн. Одес. нац. ун-ту. Хімія*. 2014. 19, вип. 3. С. 60-69.
4. Медінець В.І., Біологічні наслідки поповнення Куяльницького лиману морською водою з Одеської затоки / Медінець В.І., Ковальова Н.В., Дерезюк Н.В., Снігірьов С.М., Черкез Є.А., Медінець С.В., Газетов Є.І. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2017. № 1-2 (27). С. 35-51.
5. Collection and preparation of bottom sediment samples for analysis of radionuclides and trace elements. IAEA-Techdoc-1360, Vienna, 2003. 130.

6. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерения на гамма спектрометре. МИ 214391 : рекомендация. Гос. система обеспечения единства измерений: Введ. 01.03.91 г.: Утв.21.12.90 / Гос. ком. СССР по управлению качеством продукции и стандартам. М. : Б. и., 1991. 18 с.
7. Даниленко В.Н., Ковальский Е.А., Юферов А.Ю. Программное обеспечение "Lsrn". Алгоритмические основы - функции обработки спектрометрической информации. Менделеево: ООО «ЛСРМ», 2017. 56 с.
8. Гулина Л.В., Гулин С.Б. Природные и техногенные радионуклиды в экосистеме соленого озера Кояшское (юго-восточный Крым). *Морський екологічний журнал*. 2011. 10. № 1. С. 19-25.
9. Гулин С. Б., Гулина Л. В., Сидоров И. Г. Определение возраста морских донных отложений с помощью ^{137}Cs и ^{40}K . *Збірник наукових праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості*. 2013. №. 3. С. 56-62.
10. Гулин С.Б., Сидоров И.Г., Гулина Л.В. Биогенная седиментация в Черном море: радиотрассерное исследование. *Морской экологический журнал*. 2013. №12. С. 19-25.

References

1. Aktualnye problemy limanov severo-zapadnogo Prichernomor'ya. (2012). Adabovskiy V.V., Bolshakov V.N., Gopchenko Ye.D.; Edited by Tuchkovenko Yu.S., Gopchenko Ye.D. [Urgent problems of estuaries in the north-western Black Sea region]. Odessa. 223 [in Russian].
2. Loboda N.S., Gopchenko Ye.D. (2016). Vodnyi rezhim ta gidroekologichni kharakterystyky Kuyalnytskogo lymanu. [Water regime and hydroecological characteristics of the Kuyalnyk Estuary]. Odessa. 332 [in Ukrainian].
3. Ennan, A.A., Shikhaleeva, I.I., Adobovskiy, V.V., Kiryushkina, A.N.. (2014). Prichyny i posledstviya degradatsii Kuyalnytskogo limana (severo-zapadnoe Prichernomor'ye, Ukraina). [Reasons and consequences of the Kuyalnyk Estuary degradation] *Odessa National University Herald. Chemistry*. 3. 60-69 [in Russian].
4. Medinets, V.I., Kovalova, N.V., Derezyuk, N.V., Snigirov, S.M., Medinets, S.V., Gazyetov, Ye.I. (2017). Biologichni naslidky popovnnennya Kuyalnytskogo lymanu morskoyu vodoyu z Odeskoyi zatoky [Biological consequences of the Kuyalnyk Estuary refilling with marine water from Odessa Bay]. *Man and environment. Issues of neoecology*. 1-2(27). 35-51 [in Ukrainian].
5. Collection and preparation of bottom sediment samples for analysis of radionuclides and trace elements. IAEA-Techdoc-1360, Vienna, 2003. 130. [in English].
6. Aktivnost radionuklidov v obyomnykh obraztsakh. Metodika vypolneniya izmereniya na gamma spektrometre. MI 214391: rekomendatsiya. Gos,sistema obespecheniya edinstva izmerenij: Vved.01.03.91: Utv.21.12.90/Gos.kom.SSSR po upravleniyu kachestvom produktsii i standartam. (1991) [Activeness of radionuclides in volumatic samples. Methodology of measurements with gamma-spectrometer. MI 214391 : Recommendation. State system of provision for unification of measurements: Introduced 01.03.91: Approved 21.12.90 / State committee of the USSR on management of quality of production and standards]. M. 18 [in Russian].
7. Danilenko V.N., Kovalskiy E.A., Yuferov A.Yu. (2017). Programmnoye obespechenie "Lsrn". Algoritmicheskie osnovy – funktsii obrabotki spektrometricheskoy informatsii [Software "Lsrn". Algorithmic bases – functions of processing of spectrometric information]. Mendeleev. 56 [in Russian].
8. Gulina, L.V., Gulina, S.B. (2011). Prirodnye i tekhnogennye radionuklidy v ekosisteme solenogo ozera Koyashskoye (yugo-vostochnyi Krym) [Natural and technogenic radionuclides in the ecosystem of salt lake Koyashskoye (south-eastern Crimea)] *Marine ecological magazine*. 1. 19-25 [in Russian].
9. Gulina, S.B., Gulina, L.V., Sidorov, I.G. (2013). Opredilenie vozrasta morskikh donnykh otlozhenij s pomoschyu ^{137}Cs i ^{40}K [Determination of age of bottom sediments using ^{137}Cs and ^{40}K]. Collection of scientific papers of Sevastopol national university of nuclear energy and industry. 3. 56-62. [in Russian].
10. Gulina, S.B., Sidorov, I.G., Gulina, L.V. (2013). Biogennaya sedimentatsiya v Chernom more: radiotrassernoye issledovanie [Biogenic sedimentation in the Black Sea; radio-tracer study]. *Marine ecological magazine*. 12. 19-25 [in Russian].

Надійшла до редколегії 12.09.2017